

## **ПРОСТОЇ МОНТАЖНИХ КРАНІВ УНАСЛІДОК ДІЇ СИЛЬНИХ ВІТРІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

*Розроблена методика визначення імовірної тривалості простоїв монтажних кранів унаслідок дії сильних вітрів. За даними 195 метеостанцій України для кожного з місяців року встановлені імовірні тривалості дії вітрів зі швидкостями понад 10 м/с та понад 14 м/с, які можуть повторюватися один раз на 10 років. Виконане територіальне районування України за імовірною тривалістю простоїв кранів, результати якого можна використовувати при плануванні монтажних робіт.*

*Ключові слова: монтажні крани, швидкість вітру, простої за метеорологічними умовами.*

*Разработана методика определения вероятной продолжительности простоев монтажных кранов вследствие действия сильных ветров. По данным 195 метеостанций Украины для каждого из месяцев года установлены вероятные продолжительности действия ветров со скоростями более 10 м/с и более 14 м/с, которые могут повторяться один раз в 10 лет. Выполнено территориальное районирование Украины по вероятной продолжительности простоев кранов, результаты которого можно использовать при планировании монтажных работ.*

*Ключевые слова: монтажные краны, скорость ветра, простои по метеорологическим условиям.*

*The developed method for determining a probable duration of downtime of construction cranes due to the action of strong winds. According to the data of 195 weather stations of Ukraine for each month of the year set probable durations of wind*

*with speeds of more than 10 m / s and more than 14 m / s, which may be repeated once every 10 years. The done territorial zoning of Ukraine by a probability of crane downtime, the results are able to use for planning the construction works.*

*Keywords: construction cranes, wind speed, downtime due to weather conditions.*

**Постановка проблеми.** Ефективність використання вантажопідйомних кранів залежить від простоїв, викликаних несприятливими метеорологічними умовами. Зокрема, правилами експлуатації кранів та вимогами до техніки безпеки при веденні будівельно-монтажних робіт обмежується тиск і швидкість вітру, при яких можна використовувати вантажопідйомні крани і вести монтажні роботи. При плануванні процесів монтажу будівельних конструкцій необхідно знати та враховувати тривалість імовірних простоїв кранів, викликаних сильними вітрами в різних географічних районах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нормативні документи з улаштування та безпечної експлуатації кранів встановлюють розрахункове значення вітрового тиску для експлуатаційного режиму роботи баштових і самохідних стрілових вантажопідйомних кранів, які зазвичай використовуються для ведення монтажних робіт, рівним 125 Па. Тим самим задається обмеження на можливість роботи кранів при швидкостях вітру понад 14 м/с. Норми техніки безпеки [1] забороняють вести монтажні роботи при швидкостях вітру понад 15 м/с, а монтаж конструкцій з великою парусністю – при швидкостях вітру понад 10 м/с. Хоча проблема забезпечення роботи кранів при великих швидкостях вітру розглядалася в [2] та інших дослідженнях, прогнозування імовірних простоїв на основі аналізу метеорологічних даних не здійснювалося.

Вітровий режим на території України досліджувався в [3, 4], де зміни вітрового тиску та швидкості вітру подані у формі квазістаціонарних випадкових процесів з річним періодом нестационарності. Така імовірнісна модель дає змогу визначати середню тривалість перевищення розрахункових значень швидкості вітру як протягом усього року, так і для кожного місяця окремо. В роботі [5] обґрунтована методика визначення імовірного часу простоїв кранів, рівного

середній тривалості перевищення граничної швидкості вітру (10 чи 14 м/сек) за результатами статистичного аналізу метеорологічних спостережень за вітром. Основний недолік цієї роботи полягає в тому, що для кожного з місяців року встановлювався час імовірних простоїв, осереднений за усіма роками спостереження, хоча цей показник має значний розкид і в окремі роки тривалість імовірних простоїв може бути набагато більшою.

**Завдання роботи** полягає в прогнозуванні максимально можливого часу імовірних простоїв монтажних кранів, що експлуатуються в різних географічних районах України.

**Вихідні дані та їх статистична обробка.** Для статистичного аналізу використанні результати 21-річних строкових метеорологічних спостережень за швидкістю вітру на 195 метеостанціях, які розміщені в різних географічних районах України і відображають територіальну мінливість швидкостей вітру. Результати спостережень опубліковані в щомісячниках [6] у формі гістограм розподілу (повторюваності швидкостей вітру за градаціями) для кожного з місяців спостереження окремо. З урахуванням пропусків даних для 191 метеостанції наявно від 210 до 252 місячних гістограм розподілу швидкості вітру, і лише 4 метеостанції характеризуються меншою кількістю даних.

Для кожного з місяців спостереження за наявними гістограмами визначені числові характеристики та параметри закону розподілу Вейбулла, придатність якого для імовірнісного опису розподілів швидкості вітру  $v$  обґрунтована в роботах [3, 4] та інших. Інтегральна функція розподілу Вейбулла має вигляд

$$F(v) = 1 - \exp(-\beta v^\alpha), \quad (1)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – параметри, що визначаються через середнє значення та коефіцієнт варіації розподілу швидкості вітру для відповідного місяця спостережень.

**Методика визначення імовірної тривалості простоїв.** Інтегральна функція розподілу (1) дозволяє визначити імовірну тривалість перевищення граничної швидкості вітру  $v$  (10 чи 14 м/с) у кожному місяці спостережень:

$$T(v) = T_m [1 - F(v)] = T_m \exp(-\beta v^\alpha). \quad (2)$$

де  $T_m$  – тривалість місяця у днях чи годинах.

Результати обчислень за формулою (2) для окремих місяців спостережень показали, що імовірні тривалості простоїв, які відповідають однойменним місяцям різних років, мають значний випадковий розкид. Вибірка значень  $T(v)$  за усі роки спостережень задовільно описується законом розподілу Вейбулла (1), у якому швидкість вітру  $v$  слід замінити на тривалість перевищення  $T$ . Перевірка за критерієм узгодженості Пірсона показала, що в переважній більшості випадків для усіх місяців року розподіл Вейбулла не суперечить дослідним даним на рівнях значимості, не менших за 0,05.

Найбільша тривалість перевищення заданої граничної швидкості вітру (імовірний час простою кранів) у даному місяці, яка може реалізуватися один раз на  $\tau$  років визначається шляхом логарифмування закону розподілу (1) з підстановкою  $1 - F(T) = 1/\tau$  та розв'язання отриманого рівняння відносно  $T$ :

$$T(\tau) = \left[ -\frac{\ln(1/\tau)}{\beta} \right]^{1/\alpha} \quad (3)$$

де  $\tau$  – період повторюваності імовірного часу простою  $T(\tau)$  в роках;

$\alpha$  і  $\beta$  – параметри розподілу Вейбулла для тривалості простоїв.

Для визначення гарантованої тривалості монтажних робіт необхідно встановити імовірні тривалості перевищення заданої критичної швидкості вітру в "найбільш вітряному" місяці протягом запланованого періоду проведення монтажних робіт. Це завдання розв'язане за методикою, що зводиться до такої послідовності дій:

- виконується статистична обробка гістограм розподілу швидкості вітру для кожного місяця кожного року спостереження окремо;
- за формулою (2) для кожного з місяців спостереження визначається імовірна тривалість перевищення заданої граничної швидкості вітру 10 м/с чи 14 м/с;
- з отриманих результатів для однойменних місяців усіх років формуються 12 вибірок тривалості перевищень граничної швидкості вітру, виконується їх статистична обробка та визначаються параметри розподілу Вейбулла;

- за (3) для кожного місяця року визначається максимальний час перевищення граничної швидкості вітру  $v=10$  м/с та  $v=14$  м/с у, що може реалізуватися один раз на  $\tau$  років.

На рисунку 1 зображено річний хід тривалості простоїв монтажних кранів унаслідок перевищення граничних швидкостей вітру  $v=14$  м/с і  $v=10$  м/с для умов м. Кропивницький. Період повторюваності простоїв  $\tau=10$  років обрано згідно з рекомендаціями [7] щодо встановлення розрахункових значень вітрового тиску для перехідних розрахункових ситуацій під час проведення будівельно-монтажних робіт.

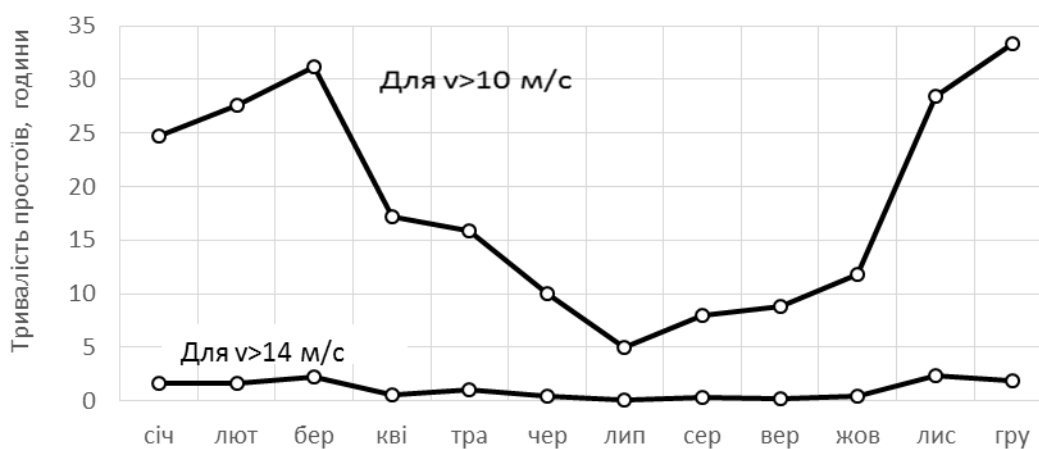


Рис. 1 Імовірні тривалості простоїв кранів (в годинах) при швидкостях вітру  $v > 14$  м/с і  $v > 10$  м/с в умовах м. Кропивницький

З рисунка 1 видно, що тривалість імовірних простоїв в зимові місяці є набагато більшою, ніж влітку. Тривалість простоїв  $T(10)$  може в 10...50 разів перевищувати значення  $T(14)$ , що істотно зменшує можливий час робіт по монтажу конструкцій з великою парусністю.

**Імовірні тривалості простоїв монтажних кранів на території України.** Результати аналогічних розрахунків для 195 метеостанцій України за даними [6] вказують на значну територіальну мінливість імовірної тривалості простоїв кранів. Наведені в таблиці 1 найменші та найбільші в межах території України тривалості  $T(10)$  і  $T(14)$  можуть відрізнятися в сотні разів. Це викликає необхідність узагальнення й територіального районування отриманих даних.

Таблиця 1

## Тривалості перевищень граничної швидкості вітру на території України

Тривалість простоїв	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Тривалість перевищення швидкості вітру 10 м/с $T(10)$ , години												
Найменша	0,6	1,1	1,0	1,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,8	0,4	1,2
Середня	52	57	47	32	23	15	13	15	19	33	43	43
Найбільша	310	338	315	212	144	114	113	124	151	248	275	342
Тривалість перевищення швидкості вітру 14 м/с $T(14)$ , години												
Найменша	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Середня	156	17	13	7	5	3	3	3	4	9	12	12
Найбільша	195	168	119	81	49	31,30	39	33	68	104	158	220
Відносна тривалість простоїв кранів												
Відносна	0,146	0,144	0,116	0,078	0,051	0,034	0,029	0,032	0,046	0,086	0,121	0,117

Близький характер сезонних змін тривалості можливих простоїв дозволив узагальнити їх зміни протягом року. Для цього місячні тривалості  $T(10)$  і  $T(14)$ , обчислені за даними кожної з метеостанцій, розділені на сумарні річні тривалості простоїв для цих метеостанцій. Отримані відносні значення є досить близькими для усіх метеостанцій і для обох розглянутих швидкостей вітру. Це дозволило осереднити відносні залежності для усіх метеостанцій і таким чином отримати узагальнену функцію річної мінливості тривалості простоїв кранів унаслідок перевищення граничних швидкостей вітру, яка й наведена в останньому рядку таблиці 1. Похибки від осереднення не перевищують 20%, що є цілком достатньою точністю для прогнозування простоїв при плануванні термінів виконання монтажних робіт.

Територіальна мінливість імовірних простоїв монтажних кранів відображена на рисунку 2, де вказані середні по території кожної області річні тривалості простоїв унаслідок перевищення швидкостей вітру 10 м/с і 14 м/с. З карти видно, що тривалості імовірних простоїв сильно змінюються по території України, а їх найбільше значення 688 год на рік обумовлює майже місячну перерву в монтажних роботах.



Рис 2 Районування території України за імовірною річною тривалістю простоїв монтажних кранів (у годинах) при перевищенні швидкості вітру 10 м/с та 14 м/с

Час імовірних простоїв монтажних кранів на території певної області дорівнює добутку річного значення з карти рисунка 2 на відносну тривалість простоїв у даному місяці року з останнього рядка таблиці 1. Гарантовану тривалість можливого ведення монтажних робіт у кожному з місяців року можна отримати, віднявши час простоїв від тривалості відповідного місяця.

**Використання розроблених рекомендацій** продемонструємо на прикладі визначення імовірного часу простоїв монтажних кранів у січні та в липні на території Кіровоградської області. Перемноживши відносні тривалості простоїв у січні та липні з таблиці 1 на значення  $T(14)$  і  $T(10)$  з карти 2, отримуємо:

$$T_{14,січ} = 40 \times 0,146 = 5,8 \text{ год},$$

$$T_{14,лип} = 40 \times 0,029 = 1,2 \text{ год},$$

$$T_{10,січ} = 239 \times 0,146 = 35,0 \text{ год},$$

$$T_{10,лип} = 239 \times 0,029 = 6,9 \text{ год}.$$

Порівняння отриманого часу простоїв з рисунком 1 з вказує на незначне завищення порівняно фактичними даними для метеостанції м. Кропивницький. Урахування тривалості дії сильних вітрів дозволить більш точно спланувати монтажні роботи з урахуванням можливих простоїв кранів під час їх проведення.

### ***Висновки.***

1. Запропонована методика, яка дозволяє за метеорологічними даними визначати тривалість дії вітрів, що перевищують задану граничну швидкість один раз протягом заданого періоду повторюваності.
2. За даними 195 метеостанцій України отримана узагальнена сезонна функція відносної тривалості перевищень та збудована карта територіального районування України за значеннями сумарної річної тривалості перевищення граничних швидкості вітру 10 м/с і 14 м/с.
3. Отримані результати дозволяють обчислювати тривалість простоїв монтажних кранів протягом кожного з місяців року в усіх областях України.

### **Список використаних джерел:**

1. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012.– 94 с.
2. Подобед В. А. Повышение эффективности использования портовых кранов при ветровых нагрузках: Автореферат дис... д. т. н: 05.22.19 / М.– 2007.– 46 с.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. – К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999.– 185 с.
4. Деркач Т.М., Пашинський В.А. Розрахункові значення вітрового навантаження для території України. // Коммунальное хозяйство городов: Республиканский межведомственный научно-технический сборник.- Вып. 27.- К.: Техника.– 2001.– С. 189-195.
5. Пашинський В.А. Прогнозування простоїв вантажопідіймальних кранів, спричинених сильними вітрами / В.А. Пашинський, А.А. Волювач, Д.М. Квятковська // Вестник ХНАДУ: Сборник научных трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – Выпуск 57 – С. 300-303.
6. Метеорологический ежемесячник. Часть II, Вып. 10. – Л.: Гидрометеиздат, 1961–1991.
7. EN 1991-1-6:2005 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-6: General actions - Actions during execution. – Brussels: CEN. – 2005. – 29 s.